

【研究報告】

石金 浩史（心理科学研究センター研究員／専修大学准教授）

それでは、研究報告をさせていただきます。専修大学心理科学研究センターの石金です。

先ほど、立花先生より網膜の情報処理についてお話がありました。私も網膜の生理学的研究を行っており、また、心理科学研究センターのプロジェクトとして、ヒトを被験者とした注意バイアスの研究も行っています。網膜の研究に関しましては、カエルの逃避行動を利用した視覚情報の神経表現の解明というテーマと、マウスおよびゼブラフィッシュの視運動反応における運動残効の神経基盤、この2つに関して、いずれも視覚誘発性行動を指標として、その神経基盤の解明を目指すという研究を現在すすめております。本日は、カエルの逃避行動を指標とした視覚情報の神経表現の解明に関する研究成果を報告させていただきます。

まず、先ほどの立花先生の基調講演の中で、受容野の概念に関するお話がございました。視覚を司る神経系の研究では、これまで対象となるニューロンの受容野について、その領域と特性が調べられてきました。そのような実験をそれぞれの段階において適用し、視覚系の各部位の機能が推定されてきました。

特に視覚初期過程、網膜や第一次視覚皮質等ですが、そのような初期の段階において個々のニューロンの受容野は比較的小さいことが知られています。したがって、視野はまず初期の段階において各ニューロンの小さな受容野で小領域に断片化されます。そのように断片化された視覚情報が最終的にどのように結合され、統合されるのかについては、なかなか捉えることができませんでした。しかし、比較的初期の段階でも視覚情報の結合や統合が行われていることが示唆されるようになり、近年ではマルチ電極による多細胞同時記録により、実験して検証することが可能になってきています。

視野内に多数の物体が存在する際、私達人間はそれらをバラバラにではなくて、できるだけ意味のあるまとまりとして知覚しようとする傾向があります。これをゲシュタルト的知覚統合と呼びますが、近接、類同、閉合、良い連続の要因といったように、特徴にしたがって体制化を行います。このゲシュタルト的知覚統合の神経基盤なのですが、これまでの研究により、ほ乳類ではV1野などの初期視覚皮質のニューロン間の周期的同期発火により実現されていることが示唆されてきました。そして、今回お話しするカエルの網膜を用いた研究により、刺激の連続性が特定のニューロン群の広い範囲の周期的同期発火に反映されるということが示されました。先ほど既にご説明がありましたので詳細は省略しますが、網膜には幅広い種にわたりほぼ共通な層構造の神経回路網が形成されています。この神経回路網により網膜像が処理され、神経節細胞群からスパイク列として脳に情報が送られています。

このカエル網膜において、刺激の連続性が特定のニューロン群の広い範囲の周期的同期発火に反映されるとお話ししましたが、ディミング検出器と呼ばれる神経節細胞のスパイク列により連続性が符号化されていることがわかっています。2つの神経節細胞のそれぞれの受容野を個々に同時に刺激する、ということを行っても、2つのニューロンのスパイクはランダムに発火し、相関を持ちません。ところが、それぞれの受容野の外側の領域までつながるような条件で刺激をす

ると、それぞれのニューロンが周期的に同時に発火する現象が観察されます。

これはディミング検出器、クラス4というサブタイプのニューロンで観察されるのですが、カエルにはその他に、クラス1, 2, 3の神経節細胞が存在することが知られています。そのうちのクラス4だけが、先ほどのような周期的な同期発火を示し、物体の連続性および大きさに依存することが示されています。

ただ、そのような活動に刺激との相関があることは示せても、実際に情報を脳に送ることを調べることは困難でした。しかし、行動実験を行うことによって実証できました。カエルを透明なアクリルドームの中に置き、視覚刺激を提示して、ビデオカメラで観察します。カエルは拡大する黒いスポットに対して逃避行動を見せるのですが、このサイズが小さいときには逃避行動は観察されません。ところが、大きくなると、カエルは逃避行動を見せます。この視覚誘発性の逃避行動を指標として研究を行いました。

剥離したカエルの網膜をマルチ電極に置き、行動実験で用いた刺激と同様の刺激を縮小提示しました。先ほど紹介したクラス4、すなわちディミング検出器のスパイク列なのですが、カエルが逃げないような小さなスポットが提示されたときには、これらのニューロンのスパイク列にはランダムなパターンしか観察されません。ところが、逃げるような大きさになると、それぞれのニューロンが周期的にスパイクを出し、かつそのスパイクが同時に発生するという現象が観察されます。

そこで、この周期的同期発火のパターンを薬物により阻害する実験を行いました。統制条件では、刺激が大きくなると周期的な同期発火が観察されるのですが、薬物で阻害するとランダムな発火になります。同じように、薬物をカエルの眼球内に注入すると、それまで逃げていた刺激に対して逃げなくなってしまうという現象が観察されました。さらに統制実験を積み重ねることで、この周期的な同期発火が、逃避行動に関連する情報を実際に脳に伝えていることが示されました。

ところが、この周期的同期発火の生起だけでは逃避行動が生じないということがわかっています。周期的同期発火は網膜の広い範囲で観察されますが、連続して大きな刺激が同位相で提示されたときに必ず発生します。ところが、そのような場合に必ず逃避行動が生起するとは限りません。例えば、ディフューズライトを用い、その光強度が正弦波に従って時間的に明るくなった暗くなったりするような刺激に対してもこの周期的同期発火は観察されるのですが、そのような刺激に対してカエルは逃避行動を見せません。

したがって、ディミング検出器の広範囲の周期的同期発火のほかにも、他のニューロンの何らかの活動が逃避行動の生起に関与している可能性があるということになります。クラス4以外のニューロンであるクラス1, 2, 3に関しては、明瞭なエッジがあると強い応答を示すことが既にわかっています。そこで、刺激のエッジを操作して、逃避行動とニューロン活動を調べてみました。

統制条件では、明瞭なエッジがある拡大する刺激が提示されました。テスト条件では、エッジをぼかした拡大刺激を提示しました。行動実験では、この2条件においてカエルは同様に逃避行動を示すことがわかりました。電気生理実験により記録されたスパイクを解析したところ、クラス1とクラス2の発火頻度がテスト条件で大きく低下することが分かりました。したがって、逃避

行動の誘発にクラス3の活動の関与が示唆されました。なお、両条件において、クラス4の活動に違いは見出せませんでした。

既に、クラス3のニューロンには、運動の性質に依存性があるものが含まれていることが示されています。今回の結果から、クラス4の活動とクラス3の活動によりカエルの脳が逃避行動を引き起こすということが示唆されました。以上が研究の報告になりますが、電気生理実験につきましては、専修大学人間科学部の齊藤やちほさんと松崎みどりさん、行動実験に関しましては、同じく専修大学人間科学部の猪股剛志さんの協力を得ました。ご清聴ありがとうございます。